

강원도 평창 지역 산림을 통과하는 안개의 pH 및 용존원소량의 변화

주영특¹ · 김홍률² · 이상덕¹ · 이숙희²

¹강원대학교 산림자원보호학과, ²경희대학교 생태시스템공학과/생명자원과학연구원

Changes to the pH and Ion Contents of the Fogwater through the Forest Site in Pyeongchang, Kangwon Province

Yeong-Teuk Joo¹, Hong-Ryul Kim², Sang-Deok Lee¹ and Sook-Hee Lee²

¹Dept. of Forest Resources Protection, Kangwon National University,

²Dept. of Ecosystem Engineering/Inst. of Life Science & Natural Resources, Kyung Hee University

1. 서론

깨끗한 공기, 맑은 물, 그리고 기름진 토양은 생태계의 순환과 보전에 필요한 기본적인 환경 요소들이다. 공업을 위시한 각종 산업화가 급속히 진전되고 있는 현대 문명사회에서 특히 이와 같은 자연 환경 요소들은 그 성질상 변화를 가속화하고, 따라서 자연환경의 오염이 극대화하기에 이르러 자연 생태계에 큰 위협을 가하고 있다. 특히 이 중에서 안개의 경우, 빗물보다 그 입자가 상당히 작고, 수분량이 적으며, 부유 지속시간이 길어 대기 중에서 오염물질이 계속 유입되므로 강수보다 오염물질의 농도가 높다. 안개를 산성화시키는 것으로는 광화학 반응 등에 의해 대기 중에 존재하고 있는 질산이나 황산 등이 안개 입자에 유입되는 것과, 1차 배출된 SO₂ 등이 2차 생성 오염물질인 과산화수소나 오존 등과 안개 물방울 속에서 액상반응을 일으켜 산성물질을 생성하는 것 등이 주요 원인으로 알려져 있다(Munger *et al.*, 1983; 김만구 등, 1993).

안개는 지역적인 특성이 매우 크게 작용하며, 빗물, 이슬, 서리 등과 비교해 발생 당시 환경조건에 따라서 그 특성을 달리하고 있다(Patricia *et al.*, 1986; Jeffrey *et al.*, 1990). 그리고 안개는 강수보다도 수용성 이온 성분이 다량 함유되어 있어서 pH의 경우도 지역에 따라 그 차이가 큰 것으로 보고 있다(Makoto, 1990; Zheng *et al.*, 1992; Collet *et al.*, 1993; 김만구 등, 1994a). 안개는 인간의 생활환경 지역인 지표 부근에서 형성되는 것으로 강수보다 산성도가 높으며, 특히 산림지역에서의 안개 및 구름의 산성화는 식생에 큰 영향을 미치므로, 생태학적 측면에서 그 연구의 필요성이 강조되고 있다(Falconer *et al.*, 1980).

2. 재료 및 방법

2. 1. 조사지 개황

조사지는 강원도 평창군 평창읍 하리 지역의 소나무 천연림 임분을 선정하였다. 이 지역은 주변 지형이 해발 400~800m로 전형적인 한국의 산악형 지형이며, 평창-영월간 31번 국도와 평창강이 남북으로 통과하고, 차량의 통행은 비교적 적은 편이다. 평창-영월간 도로(0km)로부터 신갈나무림(0.5km), 소나무림(1km)과 나지(2km)로 안개 채취지점을 야간 풍향의 방향으로 선정하였다. 인근에는 약 20여 가구의 주거단지 외에 산업시설은 존재하지 않는 청정지역이라고 할 수 있다.

Table 1. Description of research site for fogwater sampling

Location	Species	Age (yr)	DBH (cm)	Height (m)	Density (No./ha)	Altitude (m)	Slope	Aspect
Hari, Pyungchang,	<i>Quercus mongolica</i>	32~43	27.1 (9.3)	14.2 (3.1)	462	330	18.	SE
Kangwon province	<i>Pinus densiflora</i>	45~48	33.7 (8.8)	9.1 (2.4)	208	365	17.	SE

2. 2. 시료 채취

안개의 채취는 조사지역에 동력공급이 힘들어, 산성비 조사법(1996)의 안개포집법에 따라 무동력의 세션포집기를 자체 제작하여 이용하였다. 포집장치의 설치는 대기의 흐름에 따라 이동하는 안개에 직각으로 세션포집기를 설치하고, 시간의 경과에 따라 세션을 따라 유하는 안개수분을 포집기 하단에서 채취할 수 있도록 수집병을 부착하여 모으는 방법을 택하였다.

포집 지점의 위치는 평창-영월 간 31번 국도(0km)와 도로로부터 서북쪽으로 0.5km 떨어진 신갈나무림, 1km 떨어진 소나무림 그리고 2km 떨어진 나지에 각각 3개소씩 총 12개소에 설치하였다.

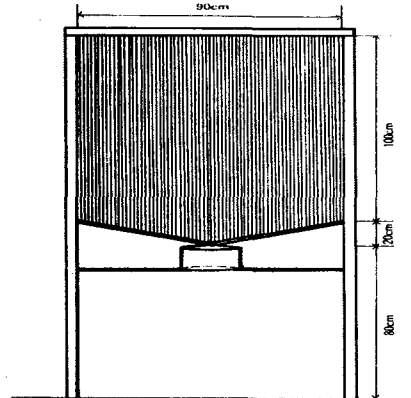


Fig. 1. The fogwater sampler using the fine fishing line.

2. 3. 연구방법

채취된 안개는 실험실로 운반하여 산성도를 측정하였다. 이때 산성도를 측정하기 전 불순물질을 제거하기 위하여 filter paper(Toyo Roshi Kaisha, No. 5C-110mm)로 1차 2회 여과 전처리한 후 pH meter(Bench top pH meter, HANNA Instrument Inc.)를 이용하여 3회 반복 측정하고 이를 산술평균하여 pH값으로 취하였다.

pH를 측정한 시료는 1개월 단위로 수용성이온을 분석하였으며, 분석직전 시료를 0.45 μ m filter(Whatman)로 2차 여과하였다. Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, Al³⁺ 등의 양이온은 Atomic absorption Spectrophotometer(Z8230, HITACHI)로, NO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻ 등의 음이온은 Ion Chromatography(DX-120, DIONEX)를 이용하여 측정 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3. 1. pH의 변화

평창지역에서 포집한 안개 시료의 전체 평균 pH 값은 5.43으로 춘천지역의 안개 pH 값이 5.50인 것(김만구 등, 1998)에 비하면 약간 낮았으며, pH 값의 분포 범위는 4.97~6.01이었다. 안개의 포집 지점별 pH의 값을 비교해 보면, 국도로부터 소나무림(1km, pH5.66)>신갈나무림(0.5km, pH5.40)>나지(2km, pH5.31)>국도(0km, pH5.23)의 순으로 나타났다.

Table 2. Average pH value of fogwater in Pyungchang

	Above road	Quercus. mongolica	Pinus. densiflora	Bare land	F-value
Determination value	5.23 ^a	5.40 ^{ab}	5.66 ^b	5.31a	3.27*

* indicates significant at 5% level, and N.S means not significant at 5% level.

Differences in letters in vertical columns indicate significant difference at 5% level for DMRT

산림을 통과한 안개는 도로에서 측정된 pH 값보다 모두 증가하였으며, 특히 소나무림에서 가장 높은 pH 값을 보였다. 조사기간 중 가장 높은 pH 값을 보인 경우는 6월에 채취한 소나무림 통과 안개(pH6.01)였으며, 그 반대로 최저의 pH 값을 나타낸 것은 도로상에서 채취한 안개(pH4.97)의 경우였다.

3. 2. 용존원소량의 변화

국도(0km)-신갈나무림(0.5km)-소나무림(1km)-나지(2km)의 4개 지점에서 채취한 안개의 평균 이온 농도를 보면, 양이온이 $NH_4^+ > Na^+ > Ca^{2+} > K^+ > Mg^{2+}$ 의 순이었고, 음이온은 $SO_4^{2-} > NO_3^- > Cl^-$ 이었다. 이와 같은 결과는 본 연구에서 분석된 이 지역의 임외우와, 강원도 춘천지역에서 발생하는 안개의 화학적 조성이 $Ca^{2+} > NH_4^+ > K^+ > Na^+ > Mg^{2+}$ 이었다는 김만구 등(1998)의 결과와 비교했을 때 차이가 나타나고 있었다. 그러나, 소백산 지역에서 포집한 안개(최재천 등, 1996)와는 화학적 조성에 있어서는 같은 것으로 나타났다. 이 중에서 NH_4^+ 와 Na^+ 은 분석된 양이온의 57.8%를 차지했으며, 음이온 중 SO_4^{2-} 는 63.3%의 높은 비율을 보였다.

일반적으로 안개의 이온농도는 동일지역의 강우보다 약 10 배 이상으로 보고되어 있는데(김만구 등, 1998), 본 연구에서는 임외우에 비해 Cl^- 가 약 3 배의 차이가 있었고, NH_4^+ 이 약 40 배로 가장 많은 차이를 보였다. 이는 안개의 발생이 강우처럼 높은 고도에서 발생하는 것이 아니라, 수증기가 응결되면서 생성되어 지표면 부근을 부유하면서 지속되는 차이점(김만구 등, 1998)에 기인한 결과로 생각되었다. 또한 안개의 발생은 지리적 요인, 고도, 주변환경, 기상 특성 등에 따라 차이가 있고(김경익 등, 1995), 이러한 복합적인 영향에 의해 수용성 이온농도가 다르게 나타날 수 있다는 것(최재천 등, 1996)을 확인할 수 있었다.

이상의 결과로 보면, 산림을 통과하면서 나타나는 안개의 이온농도는 최초 포집 장소인 평창-영월간 국도보다 대부분 낮게 나타나는 양상을 보이고 있었다. 안개가 산림을 통과하면서 발생하는 평균 이온농도의 변화량은 각 조사지점별 모든 이온에 대하여 감소하였으며, 신갈나무림 > 소나무림 > 나지의 순이었다. 또한 가장 변화가 심했던 이온은 NH_4^+ 이었고, 음이온에서는 SO_4^{2-} 로 나타났다. 이와 같은 이온농도의 감소는 안개 수분이 수목의 각기관으로 흡수, 집적되면서 흡착 분진량 등이 증가하게 되고, 이후 강우 발생시에는 수관통과우나 수간류에 의한 세탈 및 용탈이 발생(박재현과 우보명, 1998; 박영대 등, 1999)하기 때문인 것으로 생각된다.

이상에서 보는 바와 같이, 각 조사지점 중 도로에서의 이온농도가 가장 높았으며, 산림지역에서는 안개의 용존원소량이 낮아지는 경향을 보였다. 즉, 산림지역에서는 강우 중 임외우에 비해 수관통과우와 수간류의 용존원소량이 증가하는 경향을 보이지만, 안개는 산림 등 장애물을 통과하면

Table 3. Ion contents of the fogwater for each sampling sites in Pyungchang

(unit : meq/L)								
Sites	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
Above road	1.54 ^a	0.73 ^a	1.13 ^a	1.78 ^a	3.03 ^a	0.62 ^a	1.50 ^a	3.38
<i>Quercus mongolica</i>	1.30 ^b	0.63 ^b	0.93 ^c	1.33 ^b	2.18 ^b	0.48 ^b	1.24 ^c	3.13
<i>Pinus densiflora</i>	1.16 ^b	0.60 ^b	0.81 ^d	1.38 ^b	2.23 ^b	0.37 ^c	1.20 ^c	2.98
Bare land	1.47 ^a	0.71 ^a	1.03 ^b	1.69 ^a	2.89 ^a	0.61 ^a	1.36 ^b	3.24
F-value	17.65 ^{**}	8.23 ^{**}	21.86 ^{**}	7.05 ^{**}	4.37 [*]	22.60 ^{**}	14.45 ^{**}	2.85 ^{N.S}

* and ** indicates significant at 5% and 1% level and N.S means not significant at 5% level.

Differences in letters in vertical columns indicate significant difference at 5% level for DMRT

서 이와 반대의 양상을 보이고 있었다. 그러나, 음이온의 경우 조사지점별의 변화가 현저하게 나타난 것은 SO₄²⁻와 NO₃⁻였으며, 나머지 Cl⁻과의 변화는 뚜렷하게 나타나지 않았다. 음이온 중 Cl⁻의 변화는 조사기간 동안 큰 변화 없이 일정 수준을 유지하였는데, 이는 Na⁺과 Cl⁻이 해양기원으로서 특별한 원인이 없을 경우 지역적인 편차가 크지 않다는 결과(박국태 등, 1995)와 비슷하였다.

조사지의 산림지역에서 나타나는 이온농도의 변화는 대체적으로 활엽수인 신갈나무림에 비해 침엽수인 소나무림에서 큰 것으로 나타났다. 이와 같이 산림을 통과하는 과정에서 이온농도가 감소하였다는 것은 강우의 경우와는 차이가 있었다. 이는 산림지역에서 나타나는 변화 중에 안개가 산림을 통과하면서 산성화 물질을 비롯한 여러 오염물질 등이 임목에 의해 제거하여 대기 중의 오염물질에 대한 여과의 역할을 할 수 있는 것으로 생각되었다.